

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-175123

(43)Date of publication of application : 21.06.2002

(51)Int.Cl.

G05D 23/22
H01L 21/22
H01L 21/324

(21)Application number : 2001-272218

(71)Applicant : HITACHI KOKUSAI ELECTRIC INC

(22)Date of filing : 07.09.2001

(72)Inventor : TANAKA KAZUO
UENO MASAOKI
NAKANO MINORU
YAMAGUCHI HIDETO

(30)Priority

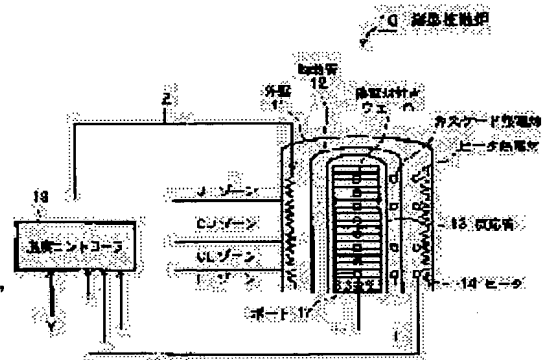
Priority number : 2000298858 Priority date : 29.09.2000 Priority country : JP

(54) TEMPERATURE CONTROL METHOD, HEAT TREATMENT DEVICE AND METHOD OF MANUFACTURING SEMICONDUCTOR DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a temperature control method making it possible to perform accurate heat equalizing adjustments with little error in a short time over an entire wafer area to be heat treated at a desired temperature, even without a skilled operator, and also enabling automation using a computer system.

SOLUTION: The temperature control method is for controlling a heating device having at least two heating zones, so that the temperature detected at the wafer position attains the desired temperature. Temperatures are detected in positions more than the number of the heating zones and in at least one wafer position in each heating zone, and the heating device is controlled so that the desired temperature is within the range between the maximum and minimum values of the plurality of detected temperatures.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-175123
(P2002-175123A)

(43) 公開日 平成14年6月21日 (2002.6.21)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード(参考)
G 0 5 D 23/19		G 0 5 D 23/19	G 5 H 3 2 3
H 0 1 L 21/22	5 0 1	H 0 1 L 21/22	5 0 1 N
	5 1 1		5 1 1 Q
21/324		21/324	T

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2001-272218(P2001-272218)
(22) 出願日 平成13年9月7日(2001.9.7)
(31) 優先権主張番号 特願2000-298858(P2000-298858)
(32) 優先日 平成12年9月29日(2000.9.29)
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000001122
株式会社日立国際電気
東京都中野区東中野三丁目14番20号
(72) 発明者 田中 和夫
東京都中野区東中野三丁目14番20号 株式
会社日立国際電気内
(72) 発明者 上野 正昭
東京都中野区東中野三丁目14番20号 株式
会社日立国際電気内
(74) 代理人 100097250
弁理士 石戸 久子 (外3名)

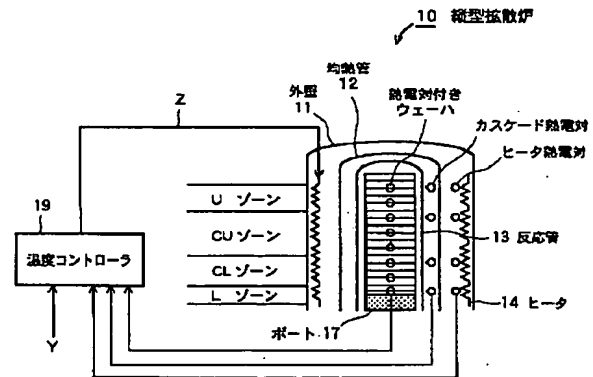
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 温度制御方法、熱処理装置、及び半導体装置の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 熟練作業者がいなくても、目標温度で熱処理すべきウェーハ領域の全領域に渡って、短時間かつ正確に誤差の少ない均熱調整を行うことができ、コンピュータシステムにより自動化も可能な温度制御方法を提供する。

【解決手段】 ウェーハ位置での検出温度をその目標温度とするよう、少なくとも2つの加熱ゾーンを有する加熱装置を制御する温度制御方法であって、前記加熱ゾーンの数よりも多く、且つ各加熱ゾーンにおける少なくとも1つのウェーハ位置での温度を検出し、検出された複数の検出温度の最大値と最小値の間に前記目標温度が含まれるように前記加熱装置を制御することを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定位置での検出温度をその目標温度とするよう、少なくとも2つの加熱ゾーンを有する加熱装置を制御する温度制御方法であって、前記加熱ゾーンの数よりも多く、且つ各加熱ゾーンにおいて少なくとも一つの所定位置での温度を検出し、検出された複数の所定位置における検出温度の最大値と最小値の間に前記目標温度が含まれるように前記加熱装置を制御することを特徴とする温度制御方法。

【請求項2】 請求項1に記載の温度制御方法において、各ゾーンに対応する第1の所定位置に第1の温度検出器を備え、前記第1の温度検出器による検出温度を第1の目標温度とするように前記加熱装置を制御する温度制御方法に用いられ、

第1の所定位置よりも被処理物に近い第2の所定位置に第2の温度検出器を備え、前記第1の温度検出器における前記第1の目標温度を変化させた場合に、前記第2の温度検出器の検出温度が変化する度合いを示す係数の行列である干渉行列M、及び前記第2の温度検出器における第2の目標温度と前記第2の温度検出器による検出温度との差P、を取得し、

これら干渉行列Mと誤差P、とに基づいて、前記第1の目標温度を補正することを特徴とする温度制御方法。

【請求項3】 請求項2に記載の温度制御方法において、前記補正された第1の目標温度を用いて温度制御を行うことで、新たな誤差P、'を求め、この誤差P、'と前記干渉行列Mを用いて、前記補正された前記第1の目標温度をさらに補正することを特徴とする温度制御方法。

【請求項4】 処理室と、少なくとも1つの加熱ゾーンを有し、前記処理室内に設けられた被処理物を加熱する加熱装置と、前記加熱装置による加熱温度を第1の所定位置にて検出するため、各ゾーンに少なくとも1つ設けた第1の温度検出器とを備え、前記第1の温度検出器により検出された第1の検出温度と、該第1の検出温度についての第1の目標温度とに基づいて前記加熱装置を制御する温度制御方法において、前記加熱ゾーンの数よりも多く、第1の所定位置よりも前記被処理物に近い第2の所定位置において前記加熱装置による加熱温度を検出する複数の第2の温度検出器を備え、前記第2の温度検出器により検出される第2の検出温度と該第2の検出温度についての第2の目標温度とを比較して前記第1の目標温度の補正値を取得し、前記補正値により前記第1の目標温度を補正して温度制御を行うことを特徴とする温度制御方法。

【請求項5】 請求項4に記載の温度制御方法において、

前記補正値の取得は、実際に被処理基板を処理する実プロセス前に行われることを特徴とする温度制御方法。

【請求項6】 処理室と、所定位置での検出温度をその目標温度とするよう温度制御される、少なくとも2つの加熱ゾーンを有する加熱装置と、前記加熱ゾーンの数よりも多く、且つ各加熱ゾーンにおける少なくとも一つの所定位置における温度を検出する複数の温度検出器と、

前記複数の温度検出器による複数の検出温度の最大値と最小値の間に前記目標温度が含まれるように、前記加熱装置を制御する制御装置とを備えてなる熱処理装置。

【請求項7】 所定位置での検出温度をその目標温度とするよう、少なくとも2つの加熱ゾーンを有する加熱装置を制御し、被処理基板に加熱処理を施す半導体装置の製造方法であって、前記加熱ゾーンの数よりも多く、且つ各加熱ゾーンにおける少なくとも一つの所定位置における温度を検出し、検出された複数の所定位置における検出温度の最大値と最小値との間に前記目標温度が含まれるように前記加熱装置を制御することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、半導体製造装置等における温度制御方法、熱処理装置、及び半導体装置の製造方法に関し、特に、被処理体を熱処理するために、熱処理装置を複数の加熱ゾーンに分割し、該複数の加熱ゾーンに関して、実際に目標温度を設定して温度制御を行い、前記複数の加熱ゾーンよりも多数の被処理体領域における検出温度により、前記目標温度を補正するようにした温度制御方法、熱処理装置及び半導体装置の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来の熱処理装置において、例えば、半導体ウェーハ（基板）を被処理体として熱処理し、成膜等を行う場合、その処理成果物である成膜等の種別およびその製造過程に対応した様々な処理温度が要求される。したがって、熱処理を行うときの被処理体の温度は、この処理温度に可能な限り一致するような方法（均熱調整方法）で温度制御される。図6は、このような熱処理装置の中の典型的な一つである縦型拡散炉の構造を示す図である。図6に示した縦型拡散炉は、外壁111に覆われた均熱管112および反応管113と、反応管113の中を加熱するためのヒータ114と、ヒータ114の温度を検出するヒータ熱電対115と、均熱管112と反応管113との間の温度を検出するカスケード熱電対116と、熱処理するためのウェーハを搭載したポート117と、ヒータ熱電対115およびカスケード熱電対116が検出する検出温度および指示される目標温度Yに基づき、ヒータ114への操作量Z（電力値）

を制御する温度コントローラ119とから構成されている。

【0003】ヒータ114は、炉内温度（反応管113の温度）をより高精度に制御するために複数の加熱ゾーンに分割されており、例えば、図6のように、4つの加熱ゾーンへの分割の場合には、上部から順にU、CU、CL、Lゾーンと呼ばれる（以降、これらの名称を使用する）、それぞれの加熱ゾーンに対応して、ヒータ熱電対115とカスケード熱電対116とが設置されている。温度コントローラ119は、カスケード熱電対116の検出温度を目標温度Yと一致するように、ヒータ熱電対115の温度を検出しながら、ヒータ114への操作量Zを予め与えられたアルゴリズム（PID演算等）に従って算出し、ヒータ114への電力値を調整している。

【0004】このように、従来は、カスケード熱電対116での検出温度を、ウェーハ処理の目標温度に一致するように温度制御を行っていたが、実際に熱処理を行うウェーハの位置での温度と、それに対応するカスケード熱電対の検出温度との間には、少なからず誤差があり、この誤差が熱処理の品質を低下させる要因となることがある。このため、ウェーハにより近い領域の温度、またはウェーハそのものの温度をウェーハ処理の目標温度になるように制御し、熱処理の品質を向上させることが必要である。そのためには、ウェーハにより近い領域の温度、またはウェーハそのものの温度を検出する手段が必要となる。検出手段としては、反応管の中に熱電対を挿入し、ウェーハ近傍の温度を測定する方法や、数学モデルを使用してウェーハ温度を推定する方法等各種のものがあるが、ここではそれらの1例として、熱電対を直接的にウェーハに装着した温度測定用ウェーハ（熱電対付きウェーハ）を使用する方法について説明する。

【0005】図7は上述の熱電対付きウェーハを使用した例を示す。この場合、熱電対付きウェーハ118は、4つの加熱ゾーンであるU、CU、CL、Lゾーンのそれぞれに対応して配置されている。また、ヒータ熱電対115およびカスケード熱電対116もこれらのU、CU、CL、Lゾーンのそれぞれに対応する位置に設置されている。熱電対付きウェーハ118で検出された温度は、ヒータ熱電対115およびカスケード熱電対116と同様に、温度コントローラ119に取り込まれる。ちなみに、熱電対付きウェーハにおいて、熱電対を装着する場所や数は、使用方法によって異なる場合があるが、ここで述べる例における熱電対付きウェーハ118は、ウェーハの中央に熱電対を1個だけ装着しているものとする。

【0006】図7のような構成で、カスケード熱電対116の検出温度をウェーハ処理の目標温度に一致するように温度制御を行った場合の、カスケード熱電対116と熱電対付きウェーハ118の検出温度の関係の1例を

図9に示す。この場合、カスケード熱電対116の検出温度（○）は、目標温度に一致するが、熱電対付きウェーハ118の検出温度（△）は、目標温度との間に誤差が生じている。また、誤差の大小等も加熱ゾーン毎に異なっているため、熱処理の品質を低下させる要因となる。この場合、熱電対付きウェーハ118の検出温度とカスケード熱電対116に対する目標温度との間の誤差を、カスケード熱電対の目標温度に対する補正值として使用する方法がある。例えば、図9において、Uゾーンの熱電対付きウェーハの検出温度が、目標温度に対して5℃低い場合には、この5℃を、Uゾーンのカスケード熱電対に対する目標温度に補正值として加える。

【0007】上述の補正により、Uゾーンのカスケード熱電対116の検出温度は、本来の目標温度よりも5℃高くなるが、Uゾーンの熱電対付きウェーハの検出温度を、本来の目標温度に一致させることができる。同様に、全ての加熱ゾーンに対して、補正を行った場合のカスケード熱電対と熱電対付きウェーハの検出温度の関係の1例を図10に示す。この場合、カスケード熱電対116の検出温度（○）は、本来の目標温度に一致しなくなったが、熱電対付きウェーハ118の検出温度（△）は、目標温度と一致している。実際に熱処理するウェーハの温度が目標温度と一致したことで、熱処理の品質を向上させることができる。ただし、上記の例において、熱電対付きウェーハ118の検出温度を5℃高くするために、カスケード熱電対に対する目標温度に5℃を補正值として加えても、熱電対付きウェーハの検出温度が、実際に5℃高くない場合が多く、数回の調整作業の繰り返しが必要となる。

【0008】さらに、図7の構成において、熱電対付きウェーハ118は、加熱ゾーン毎に設置されたヒータ熱電対115およびカスケード熱電対116に対応する位置にそれぞれ配置されていたが、それ以外のウェーハの温度を測定するために、図8のように、熱電対付きウェーハを複数枚増加して配置し、それらによって検出された温度を同様に、温度コントローラ119に取り込んだ場合の、カスケード熱電対と熱電対付きウェーハの検出温度の関係の1例が図11に示すように考えられる。この場合、各加熱ゾーンを代表する位置に配置された熱電対付きウェーハ118の検出温度（△）は、目標温度と一致しているが、それ以外の位置に配置された熱電対付きウェーハの検出温度（▲）は、目標温度に対し誤差を生じている。これでは、熱処理の品質に違いが出てしまい、製品として一定レベル以上の品質を保証できる成果物の製造割合が低下する原因となる。この対策として、ウェーハ領域の温度差をなるべく無くし、均一にするように、カスケード熱電対116に対する目標温度をさらに補正する方法がある。

【0009】例えば、図11におけるように、CLゾーンとLゾーンとの間に設置した熱電対付きウェーハの検

出温度が、目標温度に対して3℃高い場合、1℃程度、CLゾーンとLゾーンとのカスケード熱電対に対する目標温度から、補正值として減ずる。この場合、補正值を3℃とせず1℃程度としたのは、先程と同じように誤差の3℃を、カスケード熱電対に対する目標温度の補正值として使用すると、こんどは、加熱ゾーンに対応した熱電対付きウェーハの検出温度が、目標温度に対して誤差が大きくなってしまい、結果的に、ウェーハ領域の温度差を無くすという目的が達成できないからである。さらに、補正值を1℃程度としたのは、CLゾーンとLゾーンの間に設置した熱電対付きウェーハの検出温度は、CLゾーンとLゾーンのそれぞれへの補正の影響を受けるために、加熱ゾーン間の干渉の度合い等の情報が不明確な場合には、何度か補正值を調整する必要がある。10

【0010】図8に示されるように構成した場合、全ての熱電対付きウェーハの検出温度が、目標温度に対する誤差を小さくするように調整（例えば、熟練作業員によって調整）された場合における、カスケード熱電対と熱電対付きウェーハとの検出温度の関係の1例を図12に示す。この場合、加熱ゾーンに対応した熱電対付きウェーハの検出温度(Δ)は、目標温度に若干一致しなくなったが、全ての熱電対付きウェーハ(Δ, ▲)における目標温度との誤差が、図11の場合に比べて全体として減少している（矢印で示されるばらつきの幅が小さい）。これにより、製品として一定レベル以上の品質を保証できる成果物の数を増加させることができる。しかし、図12のように、熱電対付きウェーハにおける目標温度との誤差を全体的に小さくするには、熟練した作業員の存在が必要であり、また熟練作業員でも何度も繰り返し調整をするために、多くの調整時間を必要としているのが現状である。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】上述の従来の熱処理装置用均熱調整方法は、熱処理装置のウェーハ領域を複数の加熱ゾーンに分割し、全加熱ゾーンに関して、実際に目標温度を設定して温度制御を行う領域の温度を炉周辺のカスケード熱電対等の温度検出装置により検出し、検出した温度により、炉内に配置された被処理体が目標温度で処理されるように加熱制御しようとしているが、温度検出装置に対する設定温度の決定は、熟練作業員の経験や試行に依存しているため、該当する能力のある人員に制限があり、設定時間も多大に必要となるという問題がある。

【0012】この発明は、上記の問題を解決すべく考えられたものであって、熟練作業員がいなくても、被処理物の全領域に渡って、簡単に短時間で、かつ誤差を小さくして目標温度に調整（均熱調整）することができ、コンピュータシステムにより自動化も容易に行い得る温度制御方法、熱処理装置及び半導体装置の製造方法を提供す

ることを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】上述した課題を解決するため、本発明に係る温度制御方法は、所定位置での検出温度をその目標温度とするよう、少なくとも2つの加熱ゾーンを有する加熱装置を制御する温度制御方法であって、前記加熱ゾーンの数よりも多く、且つ各加熱ゾーンにおいて少なくとも1つの所定位置での温度を検出し、検出された複数の所定位置における検出温度の最大値と最小値の間に前記目標温度が含まれるように前記加熱装置を制御することを特徴とするものである。

【0014】このような構成によれば、熟練作業員がいなくても、被処理物の全領域に渡って、簡単に短時間で、かつ誤差を小さくして目標温度に調整（均熱調整）することができる。本発明は、例えば、複数の加熱ゾーンを有し、また、複数の熱電対付きウェーハ位置での温度が検出され得る縦型CVD装置や枚葉装置等に容易に適用できる。

【0015】また、本発明の温度制御方法において、各ゾーンに対応する第1の所定位置に第1の温度検出器を備え、前記第1の温度検出器による検出温度を第1の目標温度とするように前記加熱装置を制御する温度制御方法に用いられ、第1の所定位置よりも被処理物に近い第2の所定位置に第2の温度検出器を備え、前記第1の温度検出器における前記第1の目標温度を変化させた場合に、前記第2の温度検出器の検出温度が変化する度合いを示す係数の行列である干渉行列M、及び前記第2の温度検出器における第2の目標温度と前記第2の温度検出器による検出温度との差P₂を取得し、これら干渉行列Mと誤差P₂とに基づいて、前記第1の目標温度を補正することを特徴とするものである。

【0016】このような構成によれば、熟練作業員がいなくても、被処理物の全領域に渡って、簡単に短時間で、かつ誤差を小さくして目標温度に調整（均熱調整）することができ、コンピュータシステムにより自動化も容易に行い得る。なお、実施の形態において第1の温度検出器にはカスケード熱電対が相当し、第2の温度検出器には、ウェーハ（熱電対付きウェーハ）に付けられた熱電対が相当する。そして、この構成によれば、一度取得した干渉行列Mと誤差P₂に基づいて、カスケード熱電対の目標温度が補正されつつ温度制御がなされる。

【0017】また、本発明の温度制御方法は、前記補正された第1の目標温度を用いて温度制御を行うことで、新たな誤差P₂'を求め、この誤差P₂'と前記干渉行列Mを用いて、前記補正された前記第1の目標温度をさらに補正することを特徴とするものである。

【0018】このような構成によれば、より精度良く温度制御を行え、被処理物をより精度良く所望温度に加熱することができる。

50 【0019】また、本発明の温度制御方法は、処理室

と、少なくとも1つの加熱ゾーンを有し、前記処理室内に設けられた被処理物を加熱する加熱装置と、前記加熱装置による加熱温度を第1の所定位置にて検出するため、各ゾーンに少なくとも1つ設けた第1の温度検出器とを備え、前記第1の温度検出器により検出された第1の検出温度と、該第1の検出温度についての第1の目標温度とに基づいて前記加熱装置を制御する温度制御方法において、前記加熱ゾーンの数よりも多く、第1の所定位置よりも被処理物に近い第2の所定位置において前記加熱装置による加熱温度を検出する複数の第2の温度検出器を備え、前記第2の温度検出器により検出される第2の検出温度と該第2の検出温度についての第2の目標温度とを比較して前記第1の目標温度の補正值を取得し、前記補正值により前記第1の目標温度を補正して温度制御を行うことを特徴とするものである。

【0020】また、本発明の温度制御方法において、前記補正值の取得は、実際に被処理基板を処理する実プロセス前に行われることを特徴とするものである。

【0021】このような構成によれば、実プロセス中においては、第2の温度検出器を設ける必要が無く、温度検出器を設けることによる被処理物への悪影響をなくすることができる。

【0022】また、本発明に係る熱処理装置は、処理室と、所定位置での検出温度をその目標温度とするよう温度制御される、少なくとも2つの加熱ゾーンを有する加熱装置と、前記加熱ゾーンの数よりも多く、且つ各加熱ゾーンにおける少なくとも1つの所定位置における温度を検出する複数の温度検出器と、前記複数の温度検出器による複数の検出温度の最大値と最小値の間に前記目標温度が含まれるように、前記加熱装置を制御する制御装置とを備えてなるものである。

【0023】このような構成によれば、熟練作業者がいなくても、被処理物の全領域に渡って、簡単に短時間で、かつ誤差を小さくして目標温度に調整（均熱調整）することができる熱処理装置が提供できる。

【0024】また、本発明に係る半導体装置の製造方法は、所定位置での検出温度をその目標温度とするよう、少なくとも2つの加熱ゾーンを有する加熱装置を制御し、被処理基板に加熱処理を施す半導体装置の製造方法であって、前記加熱ゾーンの数よりも多く、且つ各加熱ゾーンにおける少なくとも1つの所定位置における温度を検出し、検出された複数の所定位置における検出温度の最大値と最小値との間に前記目標温度が含まれるように前記加熱装置を制御することを特徴とするものである。

【0025】このような構成によれば、熟練作業者がいなくても、被処理物の全領域に渡って、簡単に短時間で、かつ誤差を小さくして目標温度に調整（均熱調整）することができる半導体装置の製造方法を提供できる。

【0026】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の形態について添付図面に基づいて説明する。本発明の最も基本的な形態は、所定位置での検出温度をその目標温度とするよう、少なくとも1つの加熱ゾーンを有する加熱装置を制御する温度制御方法において、前記加熱ゾーンの数よりも多い複数の所定位置での温度を検出し、検出された複数の検出温度の最大値と最小値の間に前記目標温度が含まれるように前記加熱装置を制御するようにすることであるが、以下に説明する実施の形態においては、これを基本構成として、更に複数の検出温度と目標温度との差の平均値が最小となるように温度制御を行う場合の形態について説明する。

【0027】実施の形態1. 図1は、この発明の温度制御方法が適用された熱処理装置の実施の形態である縦型拡散炉を示す構成図、図2は、図1の縦型拡散炉の外壁の内部を示す拡大図である。図1および図2に示した縦型拡散炉10は、外壁11の中に配置された均熱管12と反応管13と、炉内を加熱するためのヒータ14と、ヒータ14の温度を検出するヒータ熱電対15a、15b、15c、15dと、均熱管12と反応管13との間の温度を検出するカスケード熱電対16a、16b、16c、16dと、ウェーハ温度（ウェーハおよびウェーハの配置された領域の温度）を検出するための熱電対付きウェーハ18a、18a'、18b、18b'、18b''、18c、18c'、18dを含む複数のウェーハを搭載したポート17と、ヒータ熱電対15a、15b、15c、15dおよびカスケード熱電対16a、16b、16c、16dの検出温度と目標温度Yとからヒータ14への操作量Z（電力値）を求める温度コントローラ19とから構成されている。なお、上記構成において、カスケード熱電対16a、16b、16c、16dは、本発明の第1の温度検出器を構成し、熱電対付きウェーハ18a、18a'、18b、18b'、18b''、18c、18c'、18dにおける熱電対は、本発明の第2の温度検出器を構成している。

【0028】上述の例においては、炉内のウェーハ領域の温度を高精度に制御するために、炉内は、4つの加熱ゾーン、すなわち、上部から順にU、CU、CL、Lゾーンに分割されている。各ゾーンにおいては、図示しないそれらのヒータ端子間に高周波電力が印加可能とされており、各ゾーン毎に高周波電力量を変えて印加することができる。これにより各ゾーン毎に温度制御が可能であり、全ゾーンに亘って均一に、または所望する温度勾配を付けて温度調整することが可能である。そして、これらのU、CU、CL、Lゾーンのそれぞれに対応して、ヒータ熱電対15a、15b、15c、15dとカスケード熱電対16a、16b、16c、16dとがそれぞれ設置されている。また、ポート17に搭載されたウェーハのうち、これらのU、CU、CL、Lゾーンを代表する位置に、熱電対付きウェーハが1枚ずつ（18

a, 18b, 18c, 18d)、U、CUゾーン間およびCL、Lゾーン間にはそれぞれ1枚ずつ、CU、CLゾーン間には2枚の合計8枚が配置されている。

【0029】この縦型拡散炉10におけるウェーハ領域の均熱調整方法においては、まず、実際に製品（半導体装置）を製造する前準備として、製品製造に際して行われる温度制御における目標温度の補正値を取得することから行われる。この目標温度の補正値は、ウェーハ領域の温度を均熱にするためにカスケード熱電対の検出温度の目標温度に対して用いられる。すなわち、実際の製品製造に際して行われる温度制御においては、熱電対付きウェーハの位置には通常の製品用のウェーハが配置され、ウェーハそのものの温度検出はできない。そこで、温度コントローラ19は、常時配置されているカスケード熱電対16a, 16b, 16c, 16dの検出温度の目標温度に対して、上記補正値を適用した温度制御を行うことにより、ウェーハ領域の温度を均熱にする温度制御を行うことができる。もちろん、何らかの方法でウェーハ領域の温度を常時測定できる構成であれば、それをカスケード熱電対の代わりに制御することで制御性能を向上させることができることはいうまでもない。

【0030】次に、縦型拡散炉10のウェーハ領域に対する均熱調整方法の原理について順番に説明する。まず、制御に使用するカスケード熱電対16a, 16b, 16c, 16dの検出温度と、均熱調整の目的であるウェーハ領域の温度を検出するために配置された熱電対付きウェーハ18a, 18a', 18b, 18b', 18b'', 18c, 18c', 18dの検出温度との関係を把握することが必要である。上述の縦型拡散炉10において、8枚の熱電対付きウェーハの検出温度は、4つの加熱ゾーンであるU、CU、CL、Lゾーンに対応するヒータ熱電対15a, 15b, 15c, 15dに温度検出されるヒータ14からの影響を受ける。その影響の度合いを、以下に述べるような方法で数値化する。

【0031】まず、4つの加熱ゾーンであるU、CU、CL、Lゾーンに対応するカスケード熱電対16a, 16b, 16c, 16dの検出温度をウェーハ処理の目標温度と一致するように制御する。このとき、厳密に目標温度と同じである必要はないが、温度変化は、通常、制御を行う温度帯によって異なる特性を示すために、該当する目標温度から大きく離れない温度帯で影響度合いを数値化する必要がある。全てのゾーンの温度が安定した後、1つのゾーン、例えば、Uゾーンのカスケード熱電対に対する目標温度に数℃（例えば、10℃）を加え*

＊る。その後、十分に時間が経過し、温度が安定したときの8枚の熱電対付きウェーハの検出温度の変化量（温度が上昇した場合には正、下降した場合には負の数として扱う）を記録する。この結果から、Uゾーンのカスケード熱電対に対する目標温度に加えた変化量を ΔT_u とし、そのときの8枚の熱電対付きウェーハの検出温度の変化量を、上部から順に $\Delta P_{u1} \sim \Delta P_{u8}$ とすると、以下のように表すことができる。すなわち、

$$【0032】 \Delta P_{u1} = \alpha_{u1} \times \Delta T_u$$

$$10 \quad \Delta P_{u2} = \alpha_{u2} \times \Delta T_u$$

$$\dots = \dots$$

$$\dots = \dots$$

$$\Delta P_{u8} = \alpha_{u8} \times \Delta T_u$$

【0033】上述の場合、 $\alpha_{u1} \sim \alpha_{u8}$ は、Uゾーンのカスケード熱電対に対する目標温度の変化が、8枚の熱電対付きウェーハの検出温度に与える影響の度合いを示す係数であり、数値が大きいほど影響が大きいことを表す。同様に、CUゾーンのカスケード熱電対に対する目標温度に加えた変化量を ΔT_{cu} とし、そのときの8枚の熱電対付きウェーハ18の検出温度の変化量を、上部から順に $\Delta P_{cu1} \sim \Delta P_{cu8}$ とすると、以下のように表すことができる。すなわち、

$$【0034】 \Delta P_{cu1} = \alpha_{cu1} \times \Delta T_{cu}$$

$$\Delta P_{cu2} = \alpha_{cu2} \times \Delta T_{cu}$$

$$\dots = \dots$$

$$\dots = \dots$$

$$\Delta P_{cu8} = \alpha_{cu8} \times \Delta T_{cu}$$

【0035】また、CLゾーンについては、

$$\Delta P_{cl1} = \alpha_{cl1} \times \Delta T_{cl}$$

$$30 \quad \Delta P_{cl2} = \alpha_{cl2} \times \Delta T_{cl}$$

$$\dots = \dots$$

$$\dots = \dots$$

$$\Delta P_{cl8} = \alpha_{cl8} \times \Delta T_{cl}$$

【0036】さらに、Lゾーンについては、

$$\Delta P_{l1} = \alpha_{l1} \times \Delta T_l$$

$$\Delta P_{l2} = \alpha_{l2} \times \Delta T_l$$

$$\dots = \dots$$

$$\dots = \dots$$

$$\Delta P_{l8} = \alpha_{l8} \times \Delta T_l$$

40 と表すことができる。

【0037】上述の結果から、8枚の熱電対付きウェーハの検出温度の変化量を $\Delta P_1 \sim \Delta P_8$ とすると、

$$【0038】$$

$$【数1】$$

$$\Delta P_1 = (\alpha_{u1} \times \Delta T_u) + (\alpha_{cu1} \times \Delta T_{cu}) + (\alpha_{cl1} \times \Delta T_{cl}) + (\alpha_{l1} \times \Delta T_l)$$

$$\Delta P_8 = (\alpha_{u8} \times \Delta T_u) + (\alpha_{cu8} \times \Delta T_{cu}) + (\alpha_{cl8} \times \Delta T_{cl}) + (\alpha_{l8} \times \Delta T_l)$$

【0039】となり、8枚の熱電対付きウェーハの検出温度の変化量は、各ゾーンのカスケード熱電対に対する

50 目標温度の変化を係数倍したものの和で表すことができる。したがって、8枚の熱電対付きウェーハの検出温度

を、目標温度に近付けるように変化させるためには、上記の関係式を利用し、各ゾーンのカスケード熱電対に対する目標温度への補正値を決定する必要がある。上記の関係式を行列式によって表せば、次式(1)のようにな

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \Delta P_4 \\ \Delta P_5 \\ \Delta P_6 \\ \Delta P_7 \\ \Delta P_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{v1} & \alpha_{cv1} & \alpha_{a1} & \alpha_{t1} \\ \alpha_{v2} & \alpha_{cv2} & \alpha_{a2} & \alpha_{t2} \\ \alpha_{v3} & \alpha_{cv3} & \alpha_{a3} & \alpha_{t3} \\ \alpha_{v4} & \alpha_{cv4} & \alpha_{a4} & \alpha_{t4} \\ \alpha_{v5} & \alpha_{cv5} & \alpha_{a5} & \alpha_{t5} \\ \alpha_{v6} & \alpha_{cv6} & \alpha_{a6} & \alpha_{t6} \\ \alpha_{v7} & \alpha_{cv7} & \alpha_{a7} & \alpha_{t7} \\ \alpha_{v8} & \alpha_{cv8} & \alpha_{a8} & \alpha_{t8} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta T_v \\ \Delta T_{cv} \\ \Delta T_a \\ \Delta T_t \end{bmatrix} \dots \dots (1)$$

【0041】上記の式(1)において、右辺の第1項の行列を干渉行列(カスケード熱電対に対する目標温度の変化が、熱電対付きウェーハの検出温度に与える影響の度合いを示す係数の行列)と呼び、Mとし、右辺の第2項の列ベクトル(カスケード熱電対に対する目標温度の変化量)を ΔC とし、左辺の列ベクトル(熱電対付きウェーハの検出温度の変化量)を ΔP と表すと、上記の式(1)は、

$$\Delta P = M \times \Delta C \dots \dots (2)$$

【0043】となる。このようにして、制御に使用するカスケード熱電対と、目的である熱電対付きウェーハの検出温度の関係について、数値化することができる。ただし、この数値は、様々な要因により誤差を含んでいる場合があるので、より精度を高める必要がある場合や、調整時間に余裕がある場合には、上記の干渉行列の作成※

$$P_0 = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \\ E_4 \\ E_5 \\ E_6 \\ E_7 \\ E_8 \end{bmatrix} \dots \dots (3)$$

【0046】次に、実際に8枚の熱電対付きウェーハ18a, 18a', 18b, 18b', 18b'', 18c, 18c', 18dによる検出温度を、目標温度に近付けるための調整を行う。調整を行う際に、目的である8枚の熱電対付きウェーハの検出温度が、どれだけ目標温度に近付いたかを評価するための評価基準が必要となる。そこで、製品として一定レベル以上の品質を保証できる成果物の数を増加させることを目的として、8枚の熱電対付きウェーハの全てにおいて、目標温度に対する誤差が最小になるように、各熱電対付きウェーハの検出温度と、目標温度との誤差の2乗の和を評価式とし、これが最小となるように調整する。他の評価基準、例えば、誤差の絶対値の和を最小にするように調整する場合にも、これから記述する方法を応用することができる。

＊る。

【0040】
【数2】

※を数回実行してその平均値を使用してもよいことはいうまでもない。

【0044】次に、実際に調整を行う前に、カスケード熱電対の検出温度を、ウェーハ処理の目標温度と一致するように制御した場合の、各熱電対付きウェーハの検出温度と、目標温度との誤差を取得する。このとき、各熱電対付きウェーハの検出温度が、目標温度よりも高い場合には、誤差を正の数とし、目標温度よりも低い場合には、誤差を負の数として扱う。8枚の熱電対付きウェーハの検出温度と、目標温度との誤差を、上部の加熱ゾーンから順に $E_1 \sim E_8$ とし、下記の式(3)のような列ベクトル P_0 として表すことができる。

【0045】
【数3】

上述した評価式を示すと、

$$J = |P_0 + \Delta P|^2 \dots \dots (4)$$

【0048】となる。この評価式Jにおける右辺の内容は、調整前の8枚の熱電対付きウェーハの検出温度と目標温度との誤差である P_0 と、調整によって変化する8枚の熱電対付きウェーハの検出温度の変化量である ΔP の和を表し、調整後の8枚の熱電対付きウェーハの検出温度と、目標温度との誤差を表している。上記の評価式J(式(4))に先述の式(2)を適用すると、

【0049】

$$J = |P_0 + [M \times \Delta C]|^2 \dots \dots (5)$$

【0050】となり、行列の転置を用いると、
【0051】

$$J = [P_0 + [M \times \Delta C]]^T \times [P_0 + [M \times \Delta C]] \quad \dots (6)$$

【0052】となる（「 T 」は、行列の転置を表す）。 * 【0053】

さらに、先述の式（1）および式（3）を用いると、下 【数4】

記の式（7）のようになる。 *

$$J = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \\ E_4 \\ E_5 \\ E_6 \\ E_7 \\ E_8 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \alpha_{U1} & \alpha_{CU1} & \alpha_{CL1} & \alpha_{L1} \\ \alpha_{U2} & \alpha_{CU2} & \alpha_{CL2} & \alpha_{L2} \\ \alpha_{U3} & \alpha_{CU3} & \alpha_{CL3} & \alpha_{L3} \\ \alpha_{U4} & \alpha_{CU4} & \alpha_{CL4} & \alpha_{L4} \\ \alpha_{U5} & \alpha_{CU5} & \alpha_{CL5} & \alpha_{L5} \\ \alpha_{U6} & \alpha_{CU6} & \alpha_{CL6} & \alpha_{L6} \\ \alpha_{U7} & \alpha_{CU7} & \alpha_{CL7} & \alpha_{L7} \\ \alpha_{U8} & \alpha_{CU8} & \alpha_{CL8} & \alpha_{L8} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta T_U \\ \Delta T_{CU} \\ \Delta T_{CL} \\ \Delta T_L \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \\ E_4 \\ E_5 \\ E_6 \\ E_7 \\ E_8 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \alpha_{U1} & \alpha_{CU1} & \alpha_{CL1} & \alpha_{L1} \\ \alpha_{U2} & \alpha_{CU2} & \alpha_{CL2} & \alpha_{L2} \\ \alpha_{U3} & \alpha_{CU3} & \alpha_{CL3} & \alpha_{L3} \\ \alpha_{U4} & \alpha_{CU4} & \alpha_{CL4} & \alpha_{L4} \\ \alpha_{U5} & \alpha_{CU5} & \alpha_{CL5} & \alpha_{L5} \\ \alpha_{U6} & \alpha_{CU6} & \alpha_{CL6} & \alpha_{L6} \\ \alpha_{U7} & \alpha_{CU7} & \alpha_{CL7} & \alpha_{L7} \\ \alpha_{U8} & \alpha_{CU8} & \alpha_{CL8} & \alpha_{L8} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta T_U \\ \Delta T_{CU} \\ \Delta T_{CL} \\ \Delta T_L \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} E_1 + \alpha_{U1} \times \Delta T_U + \alpha_{CU1} \times \Delta T_{CU} + \alpha_{CL1} \times \Delta T_{CL} + \alpha_{L1} \times \Delta T_L \\ E_2 + \alpha_{U2} \times \Delta T_U + \alpha_{CU2} \times \Delta T_{CU} + \alpha_{CL2} \times \Delta T_{CL} + \alpha_{L2} \times \Delta T_L \\ E_3 + \alpha_{U3} \times \Delta T_U + \alpha_{CU3} \times \Delta T_{CU} + \alpha_{CL3} \times \Delta T_{CL} + \alpha_{L3} \times \Delta T_L \\ E_4 + \alpha_{U4} \times \Delta T_U + \alpha_{CU4} \times \Delta T_{CU} + \alpha_{CL4} \times \Delta T_{CL} + \alpha_{L4} \times \Delta T_L \\ E_5 + \alpha_{U5} \times \Delta T_U + \alpha_{CU5} \times \Delta T_{CU} + \alpha_{CL5} \times \Delta T_{CL} + \alpha_{L5} \times \Delta T_L \\ E_6 + \alpha_{U6} \times \Delta T_U + \alpha_{CU6} \times \Delta T_{CU} + \alpha_{CL6} \times \Delta T_{CL} + \alpha_{L6} \times \Delta T_L \\ E_7 + \alpha_{U7} \times \Delta T_U + \alpha_{CU7} \times \Delta T_{CU} + \alpha_{CL7} \times \Delta T_{CL} + \alpha_{L7} \times \Delta T_L \\ E_8 + \alpha_{U8} \times \Delta T_U + \alpha_{CU8} \times \Delta T_{CU} + \alpha_{CL8} \times \Delta T_{CL} + \alpha_{L8} \times \Delta T_L \end{bmatrix}^T \times \begin{bmatrix} E_1 + \alpha_{U1} \times \Delta T_U + \alpha_{CU1} \times \Delta T_{CU} + \alpha_{CL1} \times \Delta T_{CL} + \alpha_{L1} \times \Delta T_L \\ E_2 + \alpha_{U2} \times \Delta T_U + \alpha_{CU2} \times \Delta T_{CU} + \alpha_{CL2} \times \Delta T_{CL} + \alpha_{L2} \times \Delta T_L \\ E_3 + \alpha_{U3} \times \Delta T_U + \alpha_{CU3} \times \Delta T_{CU} + \alpha_{CL3} \times \Delta T_{CL} + \alpha_{L3} \times \Delta T_L \\ E_4 + \alpha_{U4} \times \Delta T_U + \alpha_{CU4} \times \Delta T_{CU} + \alpha_{CL4} \times \Delta T_{CL} + \alpha_{L4} \times \Delta T_L \\ E_5 + \alpha_{U5} \times \Delta T_U + \alpha_{CU5} \times \Delta T_{CU} + \alpha_{CL5} \times \Delta T_{CL} + \alpha_{L5} \times \Delta T_L \\ E_6 + \alpha_{U6} \times \Delta T_U + \alpha_{CU6} \times \Delta T_{CU} + \alpha_{CL6} \times \Delta T_{CL} + \alpha_{L6} \times \Delta T_L \\ E_7 + \alpha_{U7} \times \Delta T_U + \alpha_{CU7} \times \Delta T_{CU} + \alpha_{CL7} \times \Delta T_{CL} + \alpha_{L7} \times \Delta T_L \\ E_8 + \alpha_{U8} \times \Delta T_U + \alpha_{CU8} \times \Delta T_{CU} + \alpha_{CL8} \times \Delta T_{CL} + \alpha_{L8} \times \Delta T_L \end{bmatrix}$$

$$= (E_1 + \alpha_{U1} \times \Delta T_U + \alpha_{CU1} \times \Delta T_{CU} + \alpha_{CL1} \times \Delta T_{CL} + \alpha_{L1} \times \Delta T_L)^2 + (E_2 + \alpha_{U2} \times \Delta T_U + \alpha_{CU2} \times \Delta T_{CU} + \alpha_{CL2} \times \Delta T_{CL} + \alpha_{L2} \times \Delta T_L)^2 + (E_3 + \alpha_{U3} \times \Delta T_U + \alpha_{CU3} \times \Delta T_{CU} + \alpha_{CL3} \times \Delta T_{CL} + \alpha_{L3} \times \Delta T_L)^2 + (E_4 + \alpha_{U4} \times \Delta T_U + \alpha_{CU4} \times \Delta T_{CU} + \alpha_{CL4} \times \Delta T_{CL} + \alpha_{L4} \times \Delta T_L)^2 + (E_5 + \alpha_{U5} \times \Delta T_U + \alpha_{CU5} \times \Delta T_{CU} + \alpha_{CL5} \times \Delta T_{CL} + \alpha_{L5} \times \Delta T_L)^2 + (E_6 + \alpha_{U6} \times \Delta T_U + \alpha_{CU6} \times \Delta T_{CU} + \alpha_{CL6} \times \Delta T_{CL} + \alpha_{L6} \times \Delta T_L)^2 + (E_7 + \alpha_{U7} \times \Delta T_U + \alpha_{CU7} \times \Delta T_{CU} + \alpha_{CL7} \times \Delta T_{CL} + \alpha_{L7} \times \Delta T_L)^2 + (E_8 + \alpha_{U8} \times \Delta T_U + \alpha_{CU8} \times \Delta T_{CU} + \alpha_{CL8} \times \Delta T_{CL} + \alpha_{L8} \times \Delta T_L)^2 \quad \dots (7)$$

【0054】次に、評価式Jを最小にすべく ΔC の各要素 ΔT_U 、 ΔT_{CU} 、 ΔT_{CL} 、 ΔT_L を求めるために、評価式Jを、 ΔC の各要素 ΔT_U 、 ΔT_{CU} 、 ΔT_{CL} 、 ΔT_L について偏微分する。まず、評価式Jを ΔT_U について偏微分すると、次式（8）となる。

【0055】

【数5】

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial J}{\partial \Delta T_U} \\
& = ((2 \times \alpha_{U1}) \times (E_1 + (\alpha_{U1} \times \Delta T_U) + (\alpha_{CU1} \times \Delta T_{CU}) + (\alpha_{CL1} \times \Delta T_{CL}) + (\alpha_{L1} \times \Delta T_L))) \\
& + ((2 \times \alpha_{U2}) \times (E_2 + (\alpha_{U2} \times \Delta T_U) + (\alpha_{CU2} \times \Delta T_{CU}) + (\alpha_{CL2} \times \Delta T_{CL}) + (\alpha_{L2} \times \Delta T_L))) \\
& + ((2 \times \alpha_{U3}) \times (E_3 + (\alpha_{U3} \times \Delta T_U) + (\alpha_{CU3} \times \Delta T_{CU}) + (\alpha_{CL3} \times \Delta T_{CL}) + (\alpha_{L3} \times \Delta T_L))) \\
& + ((2 \times \alpha_{U4}) \times (E_4 + (\alpha_{U4} \times \Delta T_U) + (\alpha_{CU4} \times \Delta T_{CU}) + (\alpha_{CL4} \times \Delta T_{CL}) + (\alpha_{L4} \times \Delta T_L))) \\
& + ((2 \times \alpha_{U5}) \times (E_5 + (\alpha_{U5} \times \Delta T_U) + (\alpha_{CU5} \times \Delta T_{CU}) + (\alpha_{CL5} \times \Delta T_{CL}) + (\alpha_{L5} \times \Delta T_L))) \\
& + ((2 \times \alpha_{U6}) \times (E_6 + (\alpha_{U6} \times \Delta T_U) + (\alpha_{CU6} \times \Delta T_{CU}) + (\alpha_{CL6} \times \Delta T_{CL}) + (\alpha_{L6} \times \Delta T_L))) \\
& + ((2 \times \alpha_{U7}) \times (E_7 + (\alpha_{U7} \times \Delta T_U) + (\alpha_{CU7} \times \Delta T_{CU}) + (\alpha_{CL7} \times \Delta T_{CL}) + (\alpha_{L7} \times \Delta T_L))) \\
& + ((2 \times \alpha_{U8}) \times (E_8 + (\alpha_{U8} \times \Delta T_U) + (\alpha_{CU8} \times \Delta T_{CU}) + (\alpha_{CL8} \times \Delta T_{CL}) + (\alpha_{L8} \times \Delta T_L))) \\
& - 2 \times \{ (\alpha_{U1}^2 + \alpha_{U2}^2 + \alpha_{U3}^2 + \alpha_{U4}^2 + \alpha_{U5}^2 + \alpha_{U6}^2 + \alpha_{U7}^2 + \alpha_{U8}^2) \times \Delta T_U \\
& + ((\alpha_{U1} \times \alpha_{CU1}) + (\alpha_{U2} \times \alpha_{CU2}) + (\alpha_{U3} \times \alpha_{CU3}) + (\alpha_{U4} \times \alpha_{CU4}) \\
& + (\alpha_{U5} \times \alpha_{CU5}) + (\alpha_{U6} \times \alpha_{CU6}) + (\alpha_{U7} \times \alpha_{CU7}) + (\alpha_{U8} \times \alpha_{CU8})) \times \Delta T_{CU} \\
& + ((\alpha_{U1} \times \alpha_{CL1}) + (\alpha_{U2} \times \alpha_{CL2}) + (\alpha_{U3} \times \alpha_{CL3}) + (\alpha_{U4} \times \alpha_{CL4}) \\
& + (\alpha_{U5} \times \alpha_{CL5}) + (\alpha_{U6} \times \alpha_{CL6}) + (\alpha_{U7} \times \alpha_{CL7}) + (\alpha_{U8} \times \alpha_{CL8})) \times \Delta T_{CL} \\
& + ((\alpha_{U1} \times \alpha_{L1}) + (\alpha_{U2} \times \alpha_{L2}) + (\alpha_{U3} \times \alpha_{L3}) + (\alpha_{U4} \times \alpha_{L4}) \\
& + (\alpha_{U5} \times \alpha_{L5}) + (\alpha_{U6} \times \alpha_{L6}) + (\alpha_{U7} \times \alpha_{L7}) + (\alpha_{U8} \times \alpha_{L8})) \times \Delta T_L \\
& + ((\alpha_{U1} \times E_1) + (\alpha_{U2} \times E_2) + (\alpha_{U3} \times E_3) + (\alpha_{U4} \times E_4) \\
& + (\alpha_{U5} \times E_5) + (\alpha_{U6} \times E_6) + (\alpha_{U7} \times E_7) + (\alpha_{U8} \times E_8)) \} \\
& \dots (8)
\end{aligned}$$

【0056】上記と同様に、評価式Jを ΔT_{CU} 、 ΔT_{CL} 、 ΔT_L についてそれぞれ偏微分すると、次式(9)、(10)、(11)が得られる。

20 【0057】
【数6】

$$\begin{aligned} \frac{\partial J}{\partial \Delta T_{CU}} = & 2 \times \{ (\alpha_{U1} \times \alpha_{CU1}) + (\alpha_{U2} \times \alpha_{CU2}) + (\alpha_{U3} \times \alpha_{CU3}) + (\alpha_{U4} \times \alpha_{CU4}) \\ & + (\alpha_{U5} \times \alpha_{CU5}) + (\alpha_{U6} \times \alpha_{CU6}) + (\alpha_{U7} \times \alpha_{CU7}) + (\alpha_{U8} \times \alpha_{CU8}) \} \times \Delta T_U \\ & + (\alpha_{CU1}^2 + \alpha_{CU2}^2 + \alpha_{CU3}^2 + \alpha_{CU4}^2 + \alpha_{CU5}^2 + \alpha_{CU6}^2 + \alpha_{CU7}^2 + \alpha_{CU8}^2) \times \Delta T_{CU} \\ & + ((\alpha_{CU1} \times \alpha_{CU1}) + (\alpha_{CU2} \times \alpha_{CU2}) + (\alpha_{CU3} \times \alpha_{CU3}) + (\alpha_{CU4} \times \alpha_{CU4}) \\ & + (\alpha_{CU5} \times \alpha_{CU5}) + (\alpha_{CU6} \times \alpha_{CU6}) + (\alpha_{CU7} \times \alpha_{CU7}) + (\alpha_{CU8} \times \alpha_{CU8})) \times \Delta T_{CU} \\ & + ((\alpha_{CU1} \times \alpha_{CU1}) + (\alpha_{CU2} \times \alpha_{CU2}) + (\alpha_{CU3} \times \alpha_{CU3}) + (\alpha_{CU4} \times \alpha_{CU4}) \\ & + (\alpha_{CU5} \times \alpha_{CU5}) + (\alpha_{CU6} \times \alpha_{CU6}) + (\alpha_{CU7} \times \alpha_{CU7}) + (\alpha_{CU8} \times \alpha_{CU8})) \times \Delta T_L \\ & + ((\alpha_{CU1} \times E_1) + (\alpha_{CU2} \times E_2) + (\alpha_{CU3} \times E_3) + (\alpha_{CU4} \times E_4) \\ & + (\alpha_{CU5} \times E_5) + (\alpha_{CU6} \times E_6) + (\alpha_{CU7} \times E_7) + (\alpha_{CU8} \times E_8)) \} \\ & \dots (9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial J}{\partial \Delta T_{CU}} = & 2 \times \{ (\alpha_{U1} \times \alpha_{CU1}) + (\alpha_{U2} \times \alpha_{CU2}) + (\alpha_{U3} \times \alpha_{CU3}) + (\alpha_{U4} \times \alpha_{CU4}) \\ & + (\alpha_{U5} \times \alpha_{CU5}) + (\alpha_{U6} \times \alpha_{CU6}) + (\alpha_{U7} \times \alpha_{CU7}) + (\alpha_{U8} \times \alpha_{CU8}) \} \times \Delta T_U \\ & + ((\alpha_{CU1} \times \alpha_{CU1}) + (\alpha_{CU2} \times \alpha_{CU2}) + (\alpha_{CU3} \times \alpha_{CU3}) + (\alpha_{CU4} \times \alpha_{CU4}) \\ & + (\alpha_{CU5} \times \alpha_{CU5}) + (\alpha_{CU6} \times \alpha_{CU6}) + (\alpha_{CU7} \times \alpha_{CU7}) + (\alpha_{CU8} \times \alpha_{CU8})) \times \Delta T_{CU} \\ & + (\alpha_{CU1}^2 + \alpha_{CU2}^2 + \alpha_{CU3}^2 + \alpha_{CU4}^2 + \alpha_{CU5}^2 + \alpha_{CU6}^2 + \alpha_{CU7}^2 + \alpha_{CU8}^2) \times \Delta T_{CU} \\ & + ((\alpha_{CU1} \times \alpha_{CU1}) + (\alpha_{CU2} \times \alpha_{CU2}) + (\alpha_{CU3} \times \alpha_{CU3}) + (\alpha_{CU4} \times \alpha_{CU4}) \\ & + (\alpha_{CU5} \times \alpha_{CU5}) + (\alpha_{CU6} \times \alpha_{CU6}) + (\alpha_{CU7} \times \alpha_{CU7}) + (\alpha_{CU8} \times \alpha_{CU8})) \times \Delta T_L \\ & + ((\alpha_{CU1} \times E_1) + (\alpha_{CU2} \times E_2) + (\alpha_{CU3} \times E_3) + (\alpha_{CU4} \times E_4) \\ & + (\alpha_{CU5} \times E_5) + (\alpha_{CU6} \times E_6) + (\alpha_{CU7} \times E_7) + (\alpha_{CU8} \times E_8)) \} \\ & \dots (10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial J}{\partial \Delta T_L} = & 2 \times \{ (\alpha_{U1} \times \alpha_{LU1}) + (\alpha_{U2} \times \alpha_{LU2}) + (\alpha_{U3} \times \alpha_{LU3}) + (\alpha_{U4} \times \alpha_{LU4}) \\ & + (\alpha_{U5} \times \alpha_{LU5}) + (\alpha_{U6} \times \alpha_{LU6}) + (\alpha_{U7} \times \alpha_{LU7}) + (\alpha_{U8} \times \alpha_{LU8}) \} \times \Delta T_U \\ & + ((\alpha_{LU1} \times \alpha_{LU1}) + (\alpha_{LU2} \times \alpha_{LU2}) + (\alpha_{LU3} \times \alpha_{LU3}) + (\alpha_{LU4} \times \alpha_{LU4}) \\ & + (\alpha_{LU5} \times \alpha_{LU5}) + (\alpha_{LU6} \times \alpha_{LU6}) + (\alpha_{LU7} \times \alpha_{LU7}) + (\alpha_{LU8} \times \alpha_{LU8})) \times \Delta T_{CU} \\ & + ((\alpha_{LU1} \times \alpha_{LU1}) + (\alpha_{LU2} \times \alpha_{LU2}) + (\alpha_{LU3} \times \alpha_{LU3}) + (\alpha_{LU4} \times \alpha_{LU4}) \\ & + (\alpha_{LU5} \times \alpha_{LU5}) + (\alpha_{LU6} \times \alpha_{LU6}) + (\alpha_{LU7} \times \alpha_{LU7}) + (\alpha_{LU8} \times \alpha_{LU8})) \times \Delta T_{CU} \\ & + (\alpha_{LU1}^2 + \alpha_{LU2}^2 + \alpha_{LU3}^2 + \alpha_{LU4}^2 + \alpha_{LU5}^2 + \alpha_{LU6}^2 + \alpha_{LU7}^2 + \alpha_{LU8}^2) \times \Delta T_L \\ & + ((\alpha_{LU1} \times E_1) + (\alpha_{LU2} \times E_2) + (\alpha_{LU3} \times E_3) + (\alpha_{LU4} \times E_4) \\ & + (\alpha_{LU5} \times E_5) + (\alpha_{LU6} \times E_6) + (\alpha_{LU7} \times E_7) + (\alpha_{LU8} \times E_8)) \} \\ & \dots (11) \end{aligned}$$

【0058】このように、評価式Jを、 ΔT の各要素 ΔT_U 、 ΔT_{CU} 、 ΔT_{LU} 、 ΔT_L について偏微分した結果に基づき、

$$\frac{\partial J}{\partial \Delta T_U} = 0$$

$$\frac{\partial J}{\partial \Delta T_{CU}} = 0$$

$$\frac{\partial J}{\partial \Delta T_{LU}} = 0$$

$$\frac{\partial J}{\partial \Delta T_L} = 0$$

【0060】とした式は、 ΔC の各要素 ΔT_U 、 ΔT_{CU} 、 ΔT_{LU} 、 ΔT_L を変数とする4元1次の方程式と

なり、この4式を連立方程式として解いた解、 ΔT_U 、*

$$\begin{bmatrix} \alpha_{U1}^2 + \dots + \alpha_{U8}^2 \\ (\alpha_{U1} \times \alpha_{CU1}) + \dots + (\alpha_{U8} \times \alpha_{CU8}) \\ (\alpha_{U1} \times \alpha_{LU1}) + \dots + (\alpha_{U8} \times \alpha_{LU8}) \\ (\alpha_{U1} \times \alpha_{L1}) + \dots + (\alpha_{U8} \times \alpha_{L8}) \end{bmatrix}^T \times \begin{bmatrix} \Delta T_U \\ \Delta T_{CU} \\ \Delta T_{LU} \\ \Delta T_L \end{bmatrix} = (-1) \times ((\alpha_{U1} \times E_1) + \dots + (\alpha_{U8} \times E_8))$$

... (12)

【0063】同様に、 $\frac{\partial J}{\partial \Delta T_{CU}} = 0$ 、 $\frac{\partial J}{\partial \Delta T_{LU}} = 0$ 、 $\frac{\partial J}{\partial \Delta T_L} = 0$ とした式は、次式(13)、(14)、(15)として表すことができる。

【0064】

【数8】

30 * ΔT_{CU} 、 ΔT_{LU} 、 ΔT_L は、評価式Jを最小にする、つまり、各熱電対付きウェーハの検出温度と、目標温度との誤差の2乗の和を最小にする、カスケード熱電対に対する目標温度の補正值である。

【0061】次に、上述の4元1次の連立方程式の解法を示す。まず、 $\frac{\partial J}{\partial \Delta T_U} = 0$ とした式は、次式(12)と表すことができる。

【0062】

【数7】

$$\begin{bmatrix} (\alpha_{U1} \times \alpha_{CU1}) + \dots + (\alpha_{U8} \times \alpha_{CU8}) \\ \alpha_{CU1}^2 + \dots + \alpha_{CU8}^2 \\ (\alpha_{CU1} \times \alpha_{CL1}) + \dots + (\alpha_{CU8} \times \alpha_{CL8}) \\ (\alpha_{CU1} \times \alpha_{L1}) + \dots + (\alpha_{CU8} \times \alpha_{L8}) \end{bmatrix}^T \times \begin{bmatrix} \Delta T_U \\ \Delta T_{CU} \\ \Delta T_{CL} \\ \Delta T_L \end{bmatrix} = (-1) \times ((\alpha_{CU1} \times E_1) + \dots + (\alpha_{CU8} \times E_8)) \quad \dots (13)$$

$$\begin{bmatrix} (\alpha_{U1} \times \alpha_{CL1}) + \dots + (\alpha_{U8} \times \alpha_{CL8}) \\ (\alpha_{CU1} \times \alpha_{CL1}) + \dots + (\alpha_{CU8} \times \alpha_{CL8}) \\ \alpha_{CL1}^2 + \dots + \alpha_{CL8}^2 \\ (\alpha_{CL1} \times \alpha_{L1}) + \dots + (\alpha_{CL8} \times \alpha_{L8}) \end{bmatrix}^T \times \begin{bmatrix} \Delta T_U \\ \Delta T_{CU} \\ \Delta T_{CL} \\ \Delta T_L \end{bmatrix} = (-1) \times ((\alpha_{CL1} \times E_1) + \dots + (\alpha_{CL8} \times E_8)) \quad \dots (14)$$

$$\begin{bmatrix} (\alpha_{U1} \times \alpha_{L1}) + \dots + (\alpha_{U8} \times \alpha_{L8}) \\ (\alpha_{CU1} \times \alpha_{L1}) + \dots + (\alpha_{CU8} \times \alpha_{L8}) \\ (\alpha_{CL1} \times \alpha_{L1}) + \dots + (\alpha_{CL8} \times \alpha_{L8}) \\ \alpha_{L1}^2 + \dots + \alpha_{L8}^2 \end{bmatrix}^T \times \begin{bmatrix} \Delta T_U \\ \Delta T_{CU} \\ \Delta T_{CL} \\ \Delta T_L \end{bmatrix} = (-1) \times ((\alpha_{L1} \times E_1) + \dots + (\alpha_{L8} \times E_8)) \quad \dots (15)$$

【0065】上記の4つの式は、行列を用いて、(1 * 【0066】
6) 式と表すことができる。 * 【数9】

$$\begin{bmatrix} \alpha_{U1}^2 + \dots + \alpha_{U8}^2 & (\alpha_{U1} \times \alpha_{CU1}) + \dots + (\alpha_{U8} \times \alpha_{CU8}) & (\alpha_{U1} \times \alpha_{CL1}) + \dots + (\alpha_{U8} \times \alpha_{CL8}) & (\alpha_{U1} \times \alpha_{L1}) + \dots + (\alpha_{U8} \times \alpha_{L8}) \\ (\alpha_{U1} \times \alpha_{CU1}) + \dots + (\alpha_{U8} \times \alpha_{CU8}) & \alpha_{CU1}^2 + \dots + \alpha_{CU8}^2 & (\alpha_{CU1} \times \alpha_{CL1}) + \dots + (\alpha_{CU8} \times \alpha_{CL8}) & (\alpha_{CU1} \times \alpha_{L1}) + \dots + (\alpha_{CU8} \times \alpha_{L8}) \\ (\alpha_{U1} \times \alpha_{CL1}) + \dots + (\alpha_{U8} \times \alpha_{CL8}) & (\alpha_{CU1} \times \alpha_{CL1}) + \dots + (\alpha_{CU8} \times \alpha_{CL8}) & \alpha_{CL1}^2 + \dots + \alpha_{CL8}^2 & (\alpha_{CL1} \times \alpha_{L1}) + \dots + (\alpha_{CL8} \times \alpha_{L8}) \\ (\alpha_{U1} \times \alpha_{L1}) + \dots + (\alpha_{U8} \times \alpha_{L8}) & (\alpha_{CU1} \times \alpha_{L1}) + \dots + (\alpha_{CU8} \times \alpha_{L8}) & (\alpha_{CL1} \times \alpha_{L1}) + \dots + (\alpha_{CL8} \times \alpha_{L8}) & \alpha_{L1}^2 + \dots + \alpha_{L8}^2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta T_U \\ \Delta T_{CU} \\ \Delta T_{CL} \\ \Delta T_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (-1) \times ((\alpha_{U1} \times E_1) + \dots + (\alpha_{U8} \times E_8)) \\ (-1) \times ((\alpha_{CU1} \times E_1) + \dots + (\alpha_{CU8} \times E_8)) \\ (-1) \times ((\alpha_{CL1} \times E_1) + \dots + (\alpha_{CL8} \times E_8)) \\ (-1) \times ((\alpha_{L1} \times E_1) + \dots + (\alpha_{L8} \times E_8)) \end{bmatrix} \quad \dots (16)$$

【0067】上記の式(16)において、左辺の第1項 * 【0068】
の行列は、式(2)における干渉行列Mを使用して、【数10】
(17) 式と表すことができる。 *

$$\begin{bmatrix} \alpha_{U1}^2 + \dots + \alpha_{U8}^2 & (\alpha_{U1} \times \alpha_{CU1}) + \dots + (\alpha_{U8} \times \alpha_{CU8}) & (\alpha_{U1} \times \alpha_{CL1}) + \dots + (\alpha_{U8} \times \alpha_{CL8}) & (\alpha_{U1} \times \alpha_{L1}) + \dots + (\alpha_{U8} \times \alpha_{L8}) \\ (\alpha_{U1} \times \alpha_{CU1}) + \dots + (\alpha_{U8} \times \alpha_{CU8}) & \alpha_{CU1}^2 + \dots + \alpha_{CU8}^2 & (\alpha_{CU1} \times \alpha_{CL1}) + \dots + (\alpha_{CU8} \times \alpha_{CL8}) & (\alpha_{CU1} \times \alpha_{L1}) + \dots + (\alpha_{CU8} \times \alpha_{L8}) \\ (\alpha_{U1} \times \alpha_{CL1}) + \dots + (\alpha_{U8} \times \alpha_{CL8}) & (\alpha_{CU1} \times \alpha_{CL1}) + \dots + (\alpha_{CU8} \times \alpha_{CL8}) & \alpha_{CL1}^2 + \dots + \alpha_{CL8}^2 & (\alpha_{CL1} \times \alpha_{L1}) + \dots + (\alpha_{CL8} \times \alpha_{L8}) \\ (\alpha_{U1} \times \alpha_{L1}) + \dots + (\alpha_{U8} \times \alpha_{L8}) & (\alpha_{CU1} \times \alpha_{L1}) + \dots + (\alpha_{CU8} \times \alpha_{L8}) & (\alpha_{CL1} \times \alpha_{L1}) + \dots + (\alpha_{CL8} \times \alpha_{L8}) & \alpha_{L1}^2 + \dots + \alpha_{L8}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{U1} & \alpha_{CU1} & \alpha_{CL1} & \alpha_{L1} \\ \alpha_{U2} & \alpha_{CU2} & \alpha_{CL2} & \alpha_{L2} \\ \alpha_{U3} & \alpha_{CU3} & \alpha_{CL3} & \alpha_{L3} \\ \alpha_{U4} & \alpha_{CU4} & \alpha_{CL4} & \alpha_{L4} \\ \alpha_{U5} & \alpha_{CU5} & \alpha_{CL5} & \alpha_{L5} \\ \alpha_{U6} & \alpha_{CU6} & \alpha_{CL6} & \alpha_{L6} \\ \alpha_{U7} & \alpha_{CU7} & \alpha_{CL7} & \alpha_{L7} \\ \alpha_{U8} & \alpha_{CU8} & \alpha_{CL8} & \alpha_{L8} \end{bmatrix}^T \times \begin{bmatrix} \alpha_{U1} & \alpha_{CU1} & \alpha_{CL1} & \alpha_{L1} \\ \alpha_{U2} & \alpha_{CU2} & \alpha_{CL2} & \alpha_{L2} \\ \alpha_{U3} & \alpha_{CU3} & \alpha_{CL3} & \alpha_{L3} \\ \alpha_{U4} & \alpha_{CU4} & \alpha_{CL4} & \alpha_{L4} \\ \alpha_{U5} & \alpha_{CU5} & \alpha_{CL5} & \alpha_{L5} \\ \alpha_{U6} & \alpha_{CU6} & \alpha_{CL6} & \alpha_{L6} \\ \alpha_{U7} & \alpha_{CU7} & \alpha_{CL7} & \alpha_{L7} \\ \alpha_{U8} & \alpha_{CU8} & \alpha_{CL8} & \alpha_{L8} \end{bmatrix} = M^T \times M \quad \dots (17)$$

【0069】また、右辺の列ベクトルは、式(2)における干渉行列Mおよび式(3)における調整前の8枚の熱電対付きウェーハの検出温度と目標温度との誤差P。 \times

$$\begin{bmatrix} (-1) \times ((\alpha_{v1} \times E_1) + \dots + (\alpha_{v8} \times E_8)) \\ (-1) \times ((\alpha_{cu1} \times E_1) + \dots + (\alpha_{cu8} \times E_8)) \\ (-1) \times ((\alpha_{cl1} \times E_1) + \dots + (\alpha_{cl8} \times E_8)) \\ (-1) \times ((\alpha_{ll1} \times E_1) + \dots + (\alpha_{ll8} \times E_8)) \end{bmatrix}$$

$$= (-1) \times \begin{bmatrix} \alpha_{v1} & \alpha_{cu1} & \alpha_{cl1} & \alpha_{ll1} \\ \alpha_{v2} & \alpha_{cu2} & \alpha_{cl2} & \alpha_{ll2} \\ \alpha_{v3} & \alpha_{cu3} & \alpha_{cl3} & \alpha_{ll3} \\ \alpha_{v4} & \alpha_{cu4} & \alpha_{cl4} & \alpha_{ll4} \\ \alpha_{v5} & \alpha_{cu5} & \alpha_{cl5} & \alpha_{ll5} \\ \alpha_{v6} & \alpha_{cu6} & \alpha_{cl6} & \alpha_{ll6} \\ \alpha_{v7} & \alpha_{cu7} & \alpha_{cl7} & \alpha_{ll7} \\ \alpha_{v8} & \alpha_{cu8} & \alpha_{cl8} & \alpha_{ll8} \end{bmatrix}^T \times \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \\ E_4 \\ E_5 \\ E_6 \\ E_7 \\ E_8 \end{bmatrix} \\ = (-1) \times M^T \times P_0 \quad \dots \dots (18)$$

【0071】したがって、式(16)の連立方程式は、
(19)式と表すことができ、

$$[M^T \times M] \times \begin{bmatrix} \Delta T_v \\ \Delta T_{cu} \\ \Delta T_{cl} \\ \Delta T_l \end{bmatrix} = (-1) \times M^T \times P_0 \quad \dots \dots (19)$$

【0073】両辺の左から逆行列 $[M^T \times M]^{-1}$ を掛けると、(20)式となる。

$$\begin{bmatrix} \Delta T_v \\ \Delta T_{cu} \\ \Delta T_{cl} \\ \Delta T_l \end{bmatrix} = [M^T \times M]^{-1} \times (-1) \times M^T \times P_0 \quad \dots \dots (20)$$

【0075】式(20)の右辺におけるMおよびP₀は、干渉行列および調整前の8枚の熱電対付きウェーハの検出温度と目標温度との誤差として既に取得した数値であるので、その値を式(20)に代入することにより、 ΔT_v 、 ΔT_{cu} 、 ΔT_{cl} 、 ΔT_l が求められる。

【0076】このように算出した ΔT_v 、 ΔT_{cu} 、 ΔT_{cl} 、 ΔT_l が、製品として一定レベル以上の品質を保證できる成果物の数を増加させることを目的とした評価式Jを、最小にするための、カスケード熱電対に対する目標温度の補正值である。上述の例においては、評価式Jを最小にする ΔC の各要素、 ΔT_v 、 ΔT_{cu} 、 ΔT_{cl} 、 ΔT_l を求めるために、偏微分によって作成した連立方程式を解く方法を順に説明したが、実際の作業では、連立方程式を解く必要はなく、干渉行列Mおよび調整前の8枚の熱電対付きウェーハの検出温度と目標温度との誤差P₀を取得し、その値を上記の式(20)に代入することによって、カスケード熱電対に対する目標温度の補正值を求めることができる。最後に、求められた補正值を使用して制御を行い、調整の結果を確認する。

【0077】図1および図2に示される構成において、各加熱ゾーン(U、CU、CL、Lゾーン)のカスケー

\times を使用して、(18)式と表すことができる。

【0070】
【数11】

★【0074】
★【数13】

30 ド熱電対に対する目標温度に、それぞれ上記で算出した補正值、 ΔT_v 、 ΔT_{cu} 、 ΔT_{cl} 、 ΔT_l を加える。そして、この目標温度と、カスケード熱電対の検出温度が一致するように制御する。十分に時間が経過し、温度が安定したところで、8枚の熱電対付きウェーハの検出温度と、本来の目標温度との誤差を確認する。それぞれの誤差が許容範囲内であれば、調整は終了する。もしも、誤差が許容範囲を超えていた場合には、追加の調整を行う。追加の調整の手順は、上記の場合と同じであるが、その際、1回目の調整では、調整前の8枚の熱電対付きウェーハの検出温度と、目標温度との誤差を取得し、P₀としていた(式(3))が、追加の調整では、1回目の調整結果の確認における、8枚の熱電対付きウェーハの検出温度と、本来の目標温度との誤差をそれぞれ取得し、P₀として使用する。後は、上記と同様に、式(20)に代入して、 ΔT_v 、 ΔT_{cu} 、 ΔT_{cl} 、 ΔT_l を求め、この ΔT_v 、 ΔT_{cu} 、 ΔT_{cl} 、 ΔT_l を、1回目の調整で補正した各加熱ゾーンのカスケード熱電対に対する目標温度にさらに加える。そして、この目標温度と、カスケード熱電対の検出温度が一致するように制御し、再調整の結果を確認する。通常は、1～2回、多くても3

回以内の調整で良好な結果を得ることができるが、それでも許容範囲を超える場合には、干渉行列の取得から再実行するのが好ましい。

【0078】以上に説明した温度制御方法、熱処理装置は、半導体製造装置における半導体製造方法として用いられる。例えば、拡散装置に適用された場合の拡散プロセスについては、以下のようなものがある。

①パイロジェニック酸化

水素ガスを酸素ガスにより燃焼させて水蒸気を生成し、その水蒸気を反応室内に導入して、ウェーハまたはウェーハ上に堆積されている膜を酸化する。処理温度は700～1000℃であり、圧力は常圧で処理される。酸化速度を考慮すると、好適な処理温度としては800～1000℃である。

②ドライ酸化

酸素ガスを反応室内に導入して、ウェーハまたはウェーハ上に堆積されている膜を酸化する。処理温度は700～1000℃で常圧で処理される。酸化速度を考慮すると、好適な処理温度としては800～1000℃である。

③磷拡散

三塩化磷(POCl_3)、酸素ガス、及び窒素ガスをキャリアガスとして、反応室内に導入する。処理温度は800～1000℃で常圧で処理される。

④アニール処理

窒素ガスなどの不活性ガスを反応室内に導入し、処理温度は800～1100℃、圧力は常圧で処理される。

【0079】半導体装置において、上記プロセス①、②は、素子間の絶縁分離、電極あるいは配線の層間分離、MOSFETのゲート酸化膜、DRAMのメモリセル蓄電容量部、不純物拡散及びイオン注入のマスク、表面不活性化と保護などに広く用いられる。また上記プロセス③では、ゲート電極、配線のポリシリコン膜へのドーピング、抵抗体やコンタクト部へのドーピングなどに用いられる。また、上記プロセス④では、不純物層への不純物を結晶内部に移動させるのに用いられる。

【0080】実施の形態2。実施の形態1では、実プロセス前に補正値を求める場合について説明したが、実プロセス中に直接補正値を求めるようにしても良い。実施の形態2は、実プロセス前に干渉行列Mだけを求め、実プロセスである基板処理中に8枚の熱電対付きウェーハの検出温度と目標温度との誤差Pを取得し、式(20)に代入することによって、カスケード熱電対に対する目標温度の補正値を求めて、この求められた補正値を目標温度に加えて温度制御することができる。

【0081】実施の形態3。実施の形態2では、熱電対付きウェーハにおいては、熱電対が基板処理中に露出することになるので、金属汚染が生じる虞がある。そこで、熱電対付きウェーハに替えて、炉内にプロファイル熱電対を挿入するようにしても良い。プロファイル熱電

対200は、例えば図3に示されるように、石英管またはSiC等のセラミック管201で熱電対を覆っている構造を有するので、熱電対204による金属汚染を低減することができる。セラミック管201の中には、複数(8本)の熱電対204が熱電対封入部202により封入され、その温度検出信号が配線203を介して得られる。各熱電対は実施の形態1に示した熱電対付きウェーハそれぞれに対応する位置(高さ位置)に設けられている。このプロファイル熱電対は、単管で構成され、比較的空間の狭い反応室内に挿入するのに適している。なお、更にこれを複数設けることにより、より多数の位置での温度検出も可能となる。

【0082】実施の形態4。また、実プロセスで検出温度と目標温度との誤差を検出する場合に、図4に示すような、ヒータ熱電対(ヒータ制御用熱電対)300として、カスケード熱電対304を8本設け、このカスケード熱電対の検出温度とその目標温度との差を誤差P。として取得し、式(20)に代入することにより、目標温度の補正値を求め、この求められた補正値を目標温度に加えて温度制御するようにしても良い。なお、図4に示すヒータ制御用熱電対300は、カスケード熱電対304が封入された石英またはSiCのセラミック管301を熱電対封入部305に8本並設し、これを均熱管(図1の12)と反応管(図1の13)との間に湾曲させて挿入できるようにしたものである。このようなカスケード熱電対304は、別々にセラミック管301に封入されているので、カスケード熱電対304相互間の干渉を防止し得る。なお、このような干渉の恐れが無い場合は、一つのセラミック管に複数の熱電対を挿入するようにしても良い。

【0083】実施の形態5。以上に説明した実施の形態は、いずれも実プロセス前に干渉行列Mを求めるようにしたものであるが、基板処理時間が長く、また、干渉行列を求める際の多少の温度昇降をしても支障が生じない半導体装置等の加熱処理をする場合は、実プロセスである基板処理中に干渉行列を求め、更に誤差と補正値を求めて目標温度を補正するようにしても良い。

【0084】実施の形態6。以上に述べた実施の形態は加熱ゾーンが縦方向に分割される縦型装置について説明したが、一枚から数枚までのウェーハを処理し、加熱ゾーンがウェーハ面内方向に分割される枚葉装置にも本発明は適用できる。図5はこの枚葉装置を示すものであり、(a)は側面図、(b)は複数のゾーンを示す平面図である。この場合、熱電対付きウェーハによる温度検出に替えて放射温度計を用いると非接触で測定でき、金属汚染を防止することが容易となる。図5に示す枚葉装置は、処理室である反応管1aを有する加熱炉1にウェーハ(基板2)を載置するサセプタ4が設けられ、加熱炉1内を所定の温度に加熱しつつ反応ガスを供給して基板2上に薄膜を形成する。加熱源であるヒータ3は加熱

ゾーンとして①、②、③の3ゾーンを有し、各ゾーンからの熱は、主として熱容量のある基板2を支持するサセプタ4及び基板2、そしてガス管5より流入される反応ガスに吸収される。

【0085】制御用のセンサとしては、各加熱ゾーン(①②③)毎に2個の放射温度計(赤外線放射温度計：第2の温度検出器)6A～6F及びヒータモニタ用又はヒータ制御用として使用され、縦型装置のカスケード温度計に対応するヒータ熱電対7A～7Cが設けられている。温度調節器AD交換部8では、熱電対信号をAD交換し、温度調節器制御部9に温度デジタルデータを送信する。放射温度計6A～6Fも同様に、センサ信号をAD交換し、温度調節器制御部9に温度デジタルデータを送信する。温度調節器制御部9は、受け取った温度デジタルデータを用い、制御(PIDなど)演算を行い、ヒータパワー値(0～100%)を決定する。このPID制御において用いられる目標温度が既述の補正值により補正される構成となっている。なお、サイリスタ制御器410は、温度調節器制御部9からの電気信号(0～100%)を受け取り、サイリスタ点弧により、ヒータを加熱する。なお、温度調節器制御部9には、交流電源411を介してメインコントローラ412が接続されると共に温度調節器表示操作部413が接続されている。また、交流電源414が放射温度計6及び温度調節器制御部9に接続されている。

【0086】本実施の形態における放射温度計6A～6Fは、被測定物としてのサセプタ4の温度を正確に測定し、サセプタ4の温度を制御するために、反応管1a内に設置される。温度センサとして放射温度計が使われるのは、非接触で測定でき、且つ応答性が良いためである。また、放射温度計を熱電対とすると、その測定原理から該熱電対をサセプタに取付ける必要があり、従ってこの場合には、サセプタ4を回転させることができなくなるからである。このように、枚葉装置は縦型装置とゾーン数が異なり、対応するヒータ熱電対(第1の温度検出器)及び放射温度計(第2の温度検出器)の数も適宜変更される。このような枚葉装置においても、本発明を適用することにより、ウェーハの面内方向への温度均一性を向上させることができる。なお、縦型装置において説明した熱電対付きウェーハにおいて、更に同一ウェーハ面内に複数の熱電対を設けることにより、縦型装置においても、面内方向への温度均一性を向上させることも可能である。

【0087】以上において、本発明による、被処理体の領域における温度制御方法の実施の形態について説明したが、これらの手順を実行することによって、熟練した作業でなくとも、早く確実に、被処理体の領域における均熱調整を行うことができるものである。また、以上の手順をコンピュータによりプログラム化し、温度コントローラ等にソフトウェアとして組み込むことによ

て、熟練作業者の介入を必要としない、被処理体の領域における自動均熱調整を行うことができる。例えば、上述のコンピュータ化により、図9で示したような結果をもたらすカスケード熱電対に対する目標温度の設定が自動的に可能となる。なお、上記の例では、8枚の熱電対付きウェーハを使用した。もっと多くの熱電対付きウェーハを使用する方法、また最上部ウェーハから最下部ウェーハの横を上下に移動する機構をもつ熱電対を用いて、同様の手段を用いることにより、より広い領域をより細かい単位で、均一な温度範囲に調整することもできる。また、以上の例では、カスケード熱電対を制御に使用した場合を説明したが、カスケード熱電対を常時設置できない構造の場合には、ヒータ熱電対を代わりに使用して、同様に調整を行うこともできる。また、熱電対付きウェーハに代わり、放射温度計を用いることも可能である。

【0088】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、実際に温度制御を行う複数の領域に対する補正した目標温度をコンピュータを利用して自動的に設定することが可能であり、熟練した作業者がいなくとも、短時間かつ正確に最適の熱処理を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の熱処理装置用均熱調整方法が適用された縦型拡散炉の実施の形態を示す構成図である。

【図2】図1によって示される縦型拡散炉の外壁の内部を示す拡大図である。

【図3】プロファイル熱電対の一例を示す図である。

【図4】カスケード熱電対の一例を示す図である。

【図5】枚葉装置を示す図であり、(a)は側面図、(b)は加熱ゾーンを示す平面図である。

【図6】熱処理装置の中の典型的な従来例の一つである縦型拡散炉を示す構成図である。

【図7】図6の縦型拡散炉に収納されたウェーハの加熱ゾーンに対応して熱電対付きウェーハを配置したところを示す図である。

【図8】図6の縦型拡散炉に収納されたウェーハの加熱ゾーンおよびその間のゾーンに対応して熱電対付きウェーハを配置したところを示す図である。

【図9】図7のように設定された熱処理装置において、カスケード熱電対の検出温度をウェーハ処理の目標温度に一致するように温度制御を行った場合の、カスケード熱電対と熱電対付きウェーハとの検出温度の関係を示す図である。

【図10】図9で示される状態を改良すべく、カスケード熱電対の検出温度が補正された目標温度に一致するように温度制御をした場合のカスケード熱電対と熱電対付きウェーハとの検出温度の関係を示す図である。

【図11】図10で示された状態において、ウェーハの加熱ゾーンに対応した位置以外の位置に熱電対付きウェー

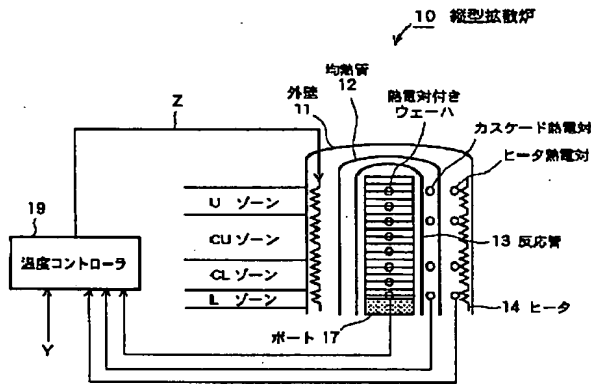
ーハを増加配置した場合の、カスケード熱電対と熱電対付きウェーハとの検出温度の関係を示す図である。

【図12】図11で示される状態を改良すべく、カスケード熱電対の検出温度を熟練作業者が選択した目標温度に一致するように温度制御をした場合のカスケード熱電対と熱電対付きウェーハとの検出温度の関係を示す図である。

【符号の説明】

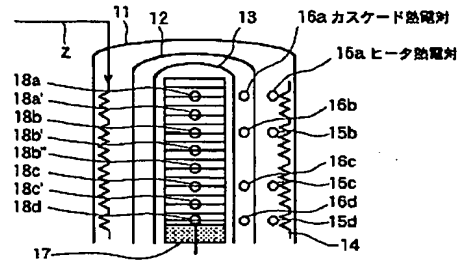
6 A～6 F 放射温度計、10 縦型拡散炉、11 外*

【図1】

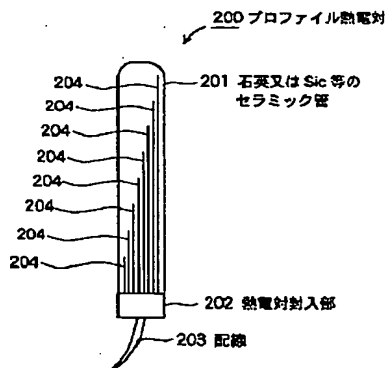


* 壁、12 均熱管、13 反応管、14 ヒータ、7 A～7 C、15 a、15 b、15 c、15 d ヒータ熱電対、16 a、16 b、16 c、16 d、304 カスケード熱電対、17 ポート、18 a、18 a'、18 b、18 b'、18 b''、18 c、18 c'、18 d 熱電対付きウェーハ、19 温度コントローラ、200 プロファイル熱電対、201 セラミック管、300 ヒータ制御用熱電対。

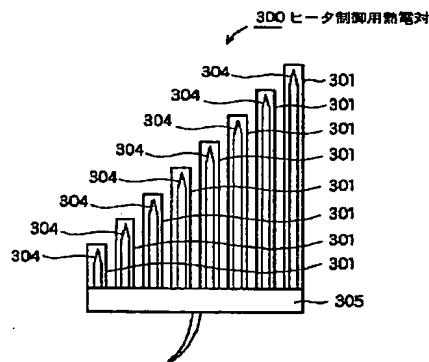
【図2】



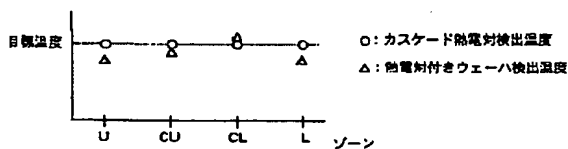
【図3】



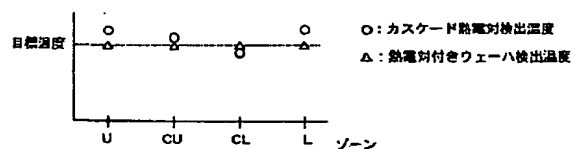
【図4】



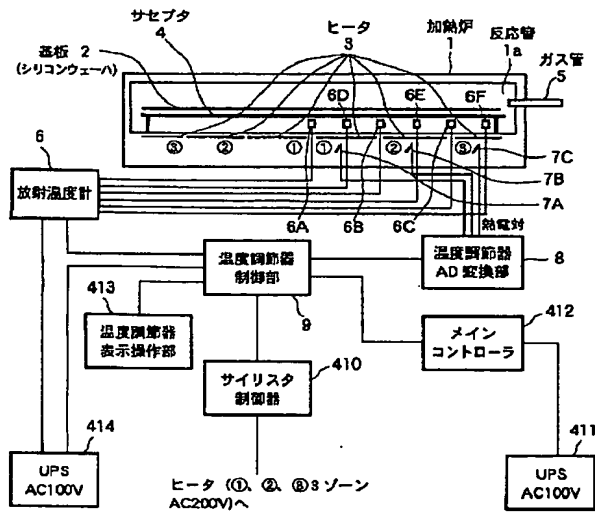
【図9】



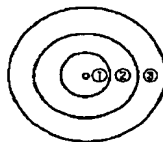
【図10】



【図5】



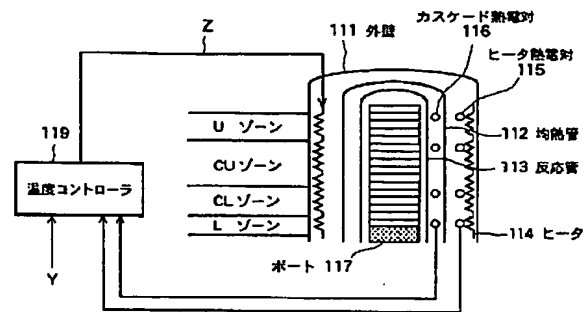
(b)



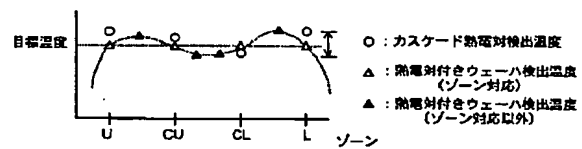
ヒータを上から見た図

【図7】

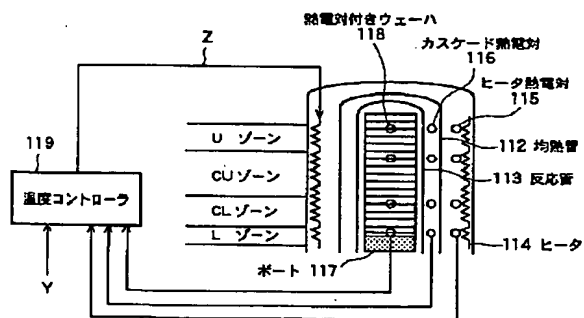
【図6】



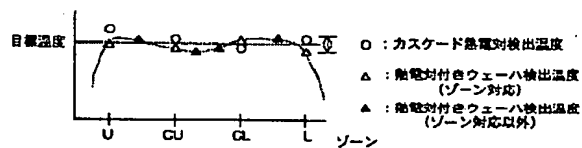
【図11】



【図8】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 中野 稔

東京都中野区東中野三丁目14番20号 株式
会社日立国際電気内

(72)発明者 山口 英人

東京都中野区東中野三丁目14番20号 株式
会社日立国際電気内

F ターム(参考) 5H323 AA05 CA06 CB02 CB42 DB03

FF01 FF03 GG02 KK05 NN03

PP01

【公報種別】公開特許公報の訂正

【部門区分】第6部門第3区分

【発行日】平成14年10月4日(2002.10.4)

【公開番号】特開2002-175123(P2002-175123A)

【公開日】平成14年6月21日(2002.6.21)

【年通号数】公開特許公報14-1752

【出願番号】特願2001-272218(P2001-272218)

【訂正要旨】分類誤載につき下記の通り訂正する。

【記】

【国際特許分類第7版】

【誤】

G05D 23/19	G
H01L 21/22	501 N
	511 Q
21/324	T

【正】

G05D 23/22	A
H01L 21/22	501 N
	511 Q
21/324	T